

PRODUCCION INNOVADORA Y SUSTENTABLE EN UN SISTEMA ACUAPONICO EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

Angelina Gorosito¹, Aldo N. Zanazzi¹, Federico Cecchi¹, María Prario¹, María M. Pérsico¹, Arturo Asiain¹, Paula Waldman¹, Julio Imeroni¹ y Juan C. Mallo^{1,2 *}

1. Unidad Académica Mar del Plata (UTN). 2. Comisión de Investigaciones Científicas Bs.As. (CIC).

1. Dirección Buque Pesquero Dorrego 281. Mar del Plata.

Teléfono 223 4805449

e-mail: jcmallo@mdp.utn.edu.ar

Resumen

Esta experiencia se realizó en el Laboratorio de Acuicultura (U.A.MdP-UTN), el objetivo fue producir peces y vegetales reduciendo la tasa de recambio de agua y su descarte hacia el ambiente, resultando en un uso más sustentable. Esto se traduce en menores costos operativos del sistema, aumentando la rentabilidad productiva y beneficiando al medio ambiente. En nuestro país aún no se han implementado sistemas de producción de acuaponía con la especie *Oreochromis niloticus* (Tilapia del Nilo), lo cual lo hace más novedoso. Esta experiencia se realiza en un sistema de recirculación con un mínimo recambio de agua semanal. Los sistemas utilizados para el cultivo hidropónico son los denominados Sistema de Balsas y NFT (*Nutrient Film Technique*) y para los peces SRA (Sistema de Recirculación Acuícola). Como resultado se obtuvo un buen crecimiento de las hortalizas, cosechando cada 50 días hierbas aromáticas y ciboulette y cada 45 días verduras de hoja y tomates cherry; respecto a los peces se cosecharon a los tres meses ejemplares de 300gs. Como resultado se obtuvieron vegetales y pescado de muy buena calidad, fortalecido por parte de un panel de evaluación sensorial con una muy buena aceptación. En base a todo lo expuesto podemos concluir que este novedoso sistema de producción alternativo no solo es factible de realizar a pequeña escala, sino también extrapolarlo a mediana o mayor escala y en espacios de poca dimensión.

Palabras clave: vegetales, peces, producción, acuicultura, sustentabilidad

Introducción

En el mundo las técnicas de cultivo agrícolas dominantes están presionando fuertemente el medioambiente, atentando contra para la seguridad alimentaria de los consumidores. Las cosechas se han incrementado considerablemente generando mayor uso de plaguicida y transgénicos para aumentar sus producciones que llegan a venderse en el mercado a precios poco accesibles para un segmento de la sociedad que resulta ser la más desprotegida. No solo este sector se ve afectado frente a estas dinámicas de cultivo poco sustentables, sino que afectan a gran parte de la población que las consume poniendo en riesgo su salud. Por estos motivos la búsqueda constante de nuevas

técnicas de cultivo, que le aporten herramientas a las poblaciones rurales a generar alimentos de calidad, de una forma económica y sostenible, actualmente se están desarrollando en forma activa. En este sentido la acuaponía resulta ser una actividad donde el medio ambiente y la producción van de la mano garantizando la seguridad alimentaria

La acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos vegetales y animales que involucra intervenciones en el proceso de cría para aumentar la producción. Es probablemente, en la última década el sector de producción de alimentos de más rápido crecimiento y representa casi el 50 por ciento del pescado destinado a la alimentación a nivel mundial (FAO, 2014). Los métodos de producción acuícola se han desarrollado en varias regiones del mundo, y por lo tanto se han adaptado a las condiciones ambientales y climáticas específicas de estas regiones. Las cuatro categorías principales de la acuicultura incluyen sistemas abiertos de agua (por ejemplo, jaulas, balsas, etc.), el cultivo en estanques, canales de flujo continuo y sistemas de recirculación acuícola (SRA). Aunque un SRA no es el sistema de producción más barato debido a sus altos costos de inversión, energía y gestión, se puede aumentar considerablemente la productividad por unidad de superficie y es la tecnología más eficiente y utilizada de ahorro de agua en el cultivo de peces. (Kubitza. 2006)

En los sistemas de recirculación acuícola, se cultivan organismos acuáticos en forma intensiva, esto implica utilizar pequeños espacios para lograr altas producciones, a través de la aplicación de tecnologías de tratamiento del agua que implica un uso más sustentable, utilizando al máximo el recurso haciendo a este sistema altamente amigable con el medioambiente.

La palabra hidroponía proviene del griego *Hydro* que significa agua y *Ponos* que significa labor, trabajo o esfuerzo; traducido literalmente significaría trabajo en agua (Guzmán Díaz 2004). La acuaponía es la integración de la acuicultura y la hidroponía en un sistema de producción. Los cultivos hidropónicos son los llamados cultivos sin suelo, estos nuevos sistemas de cultivo no sólo prescinden del suelo, sino también de un sustrato material sólido y en su lugar se utiliza un sustrato líquido, de donde absorberán los nutrientes las raíces para sus procesos metabólicos (Sádaba *et al* 2007). Los sistemas de recirculación acuícolas y cultivos hidropónicos han experimentado una gran expansión en el mundo no sólo por sus altos rendimientos, sino también por su mejor uso de la tierra y agua, métodos simples de control de contaminación, mejora de la gestión de los factores productivos, mayor calidad de los productos y mayor seguridad alimentaria. (FAO 2014).

La acuaponía es un sistema bio-integrado de producción de alimentos, donde se combina el cultivo de peces (acuicultura), con el cultivo de vegetales (hidroponía). Es una técnica que tiene su lugar

dentro del contexto más amplio de la agricultura intensiva sostenible .Especialmente en aplicaciones a escala familiar, pueden generar grandes cantidades de alimentos en lugares donde la agricultura basada en el suelo es difícil o imposible. (FAO, 2014).

Los productos resultantes de este tipo de cultivo tienen un valor adicional importante a la hora de hablar de inocuidad y seguridad alimentaria, esto se debe a que los cultivos de vegetales son enteramente orgánicos ya que no poseen fertilizantes de tipo inorgánicos ni pesticidas permitiéndonos llevar a nuestra mesa un producto confiable y de buena calidad .

En este sistema los desechos generados por los peces, son aprovechados por la plantas y transformados en materia orgánica vegetal. Esto ocurre ya que solo una fracción del alimento para los peces (20 a 30 %) se metaboliza y se incorpora como tejido muscular mientras que el resto (excreción, alimento no consumido y diluido) se utiliza como nutriente para el crecimiento de los vegetales (Church & Pond, 1982). Por otro lado los tratamientos convencionales de las descargas de la acuicultura, representa un significativo costo adicional; de esta forma la acuaponia se convierte en una alternativa de tratamiento de las descargas de la acuicultura, más económica, amigable ambientalmente y rentable (Adler *et al* 2000).

El nitrógeno cumple funciones vitales dentro de los seres vivos, encontrándose dentro de las plantas tanto en formas orgánicas como inorgánicas. Estas últimas son en realidad de escasa magnitud, presentándose la mayoría como nitratos (NO_3^-), única forma inorgánica capaz de ser almacenada; este último juega un rol esencial en el crecimiento vegetal.

La Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) es un pez de agua dulce con una serie de características biológicas y ecológicas destacables, como rápido crecimiento, resistencia a enfermedades y a condiciones adversas, conversión eficiente del alimento, alta fecundidad, maduración temprana y aceptación de alimentos artificiales, además de brindar proteína de altísima calidad (El-Sayed, 2006; Nguyen & Davis, 2009). Es uno de los principales peces de cultivo de agua dulce en el mundo, ganando popularidad recientemente en los Estados Unidos y algunos países de Europa, también es muy consumida en la República Popular China y actualmente en Latinoamérica (FAO, 2014).

Es así como este modelo sirve para una producción sostenible de alimentos, siguiendo principios de uso de aguas residuales, la integración de sistemas acuícola-agrícola en un policultivo que incrementa la diversidad y producción final y la posibilidad de obtener productos “más sanos” con importantes impactos socio-económicos a nivel local (Diver, 2006).

Materiales y métodos

En el Laboratorio de Acuicultura perteneciente a la Unidad Académica Mar del Plata (Universidad Tecnológica Nacional) se trabajó en un sistema de recirculación cerrada donde se combinó el cultivo de distintos vegetales de consumo habitual y la producción de la especie Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Descripción del sistema de recirculación utilizado.

El sistema de cultivo bio-integrado, radicó en la unión de los sistemas hidropónicos de balsas y el NFT (*Nutrient Film Technique*) con el cultivo de peces en un sistema de recirculación cerrada que consta de dos tanque de fibra de vidrio ovalado de 3000 litros, un decantador de 100 litros, un filtro biológico de 250 litros y una bomba centrífuga de 1,5HP.

Se trabajó con dos tanques tipo raceway de 3000 litros, uno contiene el cultivo de la especie *Oreochromis niloticus* (Tilapia nilotica) y el otro el cultivo en balsas flotantes con la especie *Lactuca sativa* (Lechuga criolla de verano). El cultivo en balsas flotantes consiste en un reservorio de agua que contiene los nutrientes provenientes del filtro biológico y donde se encuentran flotando planchas de tergopol (entre 5 y 6 cm) en la que se efectúan perforaciones donde se colocan las plantas, sostenidas por goma espuma de muy pequeño espesor, quedando las raíces sumergidas en el agua. La superficie total de siembra en el sistema de balsas fue de 2,98 m², el número de plantas de lechuga en la siembra: fue de 199 con una densidad inicial: de 67.7 plantas/m² y un peso de 39.03 g. (Figura 1).

El sistema NFT que se utiliza normalmente para vegetales de menor tamaño, consiste en hacer correr una película de solución nutritiva muy fina a lo largo de un canal de cultivo formado por una serie de caños de PVC de un diámetro de 4" y una longitud de 1,25m sobre el tanque de engorde de peces, lo que permite agrupar las plantas y obtener rendimientos altos por unidad de superficie. Estos caños fueron perforados en su parte superior, donde se colocaron los recipientes plásticos ranurados con los plantines de vegetales a cultivar. Se utilizó como sustrato grava de pequeña granulometría que permitió que éstos queden fijos y sus raíces suspendidas para alcanzar la película de agua cargada de nutrientes que reingresa luego de la filtración mecánica y biológica. Esta corre con un flujo débil para que las raíces puedan absorber los nutrientes necesarios para su crecimiento. Al atravesar el canal de cultivo el agua cae nuevamente al tanque de peces para que a posteriori regrese al sistema de filtrado (Caló, 2011). Este sistema es muy utilizado en plantas pequeñas, en nuestro caso se utilizó para plantas aromáticas, tomates cherry, ciboulette, acelga, etc. La superficie por cada caño fue 0,76 m² con 5 y 6 hoyuelos, usándose entre 6 y 7 caños. El número de plantas de siembra en

este bioensayo fue de 17 plantas de albahaca y 10 de lechuga con un peso inicial en el caso de albahaca de 5,94g y de lechuga 15,2 g. (Figura 1)

Como el hierro es esencial para muchos procesos químicos pertenecientes al metabolismo primario de las plantas y debido a que no se encuentra disponible en el sistema se debe agregar, por lo cual en este bioensayo se añadió hierro quelatado en una concentración de 2mg/m^3 .

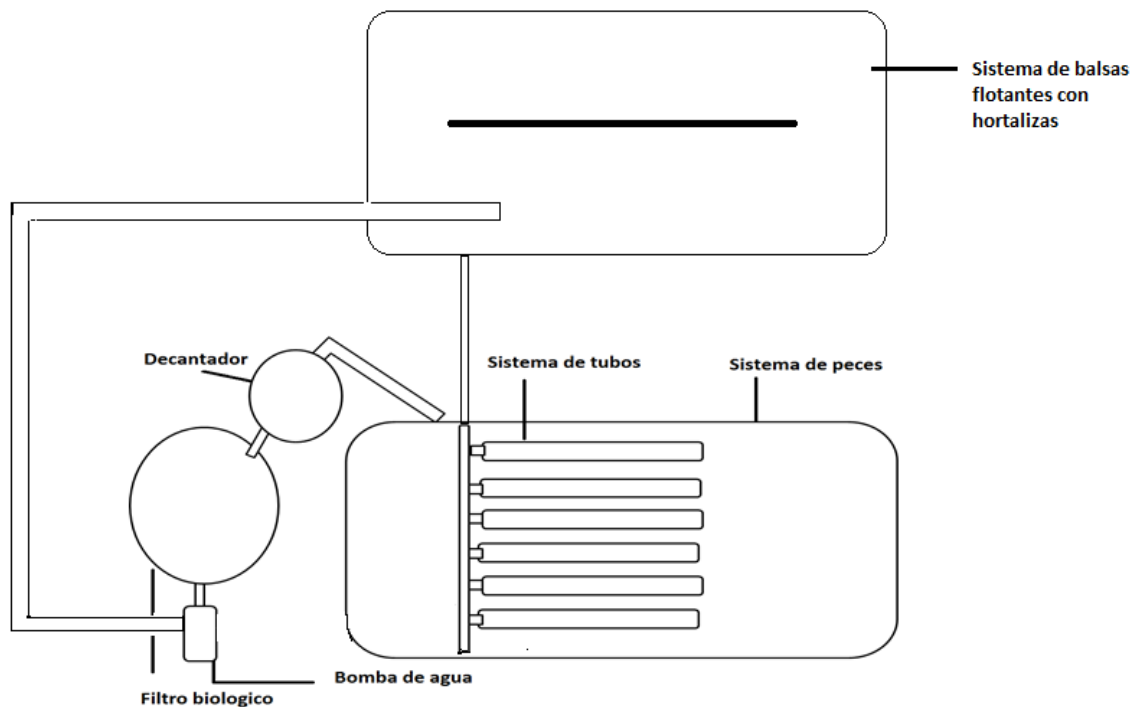


Figura 1. Esquema del sistema de Acuaponia.

Sistema de filtrado.

El sistema está compuesto por tanques de cultivo y filtros contruidos en plástico reforzado con fibra de vidrio los cuales ofrecen resistencia y un fácil manejo. Se trabajó con dos tanques tipo “raceway” de forma ovalada con la salida del agua en uno de los extremos. Los filtros mecánicos se sitúan inmediatamente a continuación del tanque que contendrá los peces y se destinan a eliminar todas las partículas sólidas en suspensión. En nuestro sistema el decantador es de forma cilíndrica y posee una entrada y una salida en posición lateral.

El filtro biológico se coloca a continuación del filtro mecánico y se emplea con el objetivo de transformar biológicamente los desechos metabólicos generados por los peces, que pueden permanecer en el sistema. Este proceso se lleva a cabo por medio de las bacterias *Nitrobacter* y *Nitrosomonas* que crecen en el filtro en presencia de los desechos metabólicos, éstas requieren de una superficie de contacto donde alojarse. Estas bacterias, oxidan el amoníaco y el nitrito para suplir sus necesidades energéticas, dando como producto final nitrato que es menos toxico para los peces y es una fuente importante de alimento para las plantas

Toma de parámetros y muestreos.

Diariamente se tomaron los parámetros de calidad del agua utilizando un multisensor paramétrico marca “Horiba” U10. Semanalmente se midieron las concentraciones de los nutrientes en el filtro biológico y los tanques por medio de kits colorimétricos y cada quince días se enviaba una muestra al Laboratorio de Análisis Industriales de esta Unidad Académica, para determinar la concentración de amoníaco, nitritos y nitratos en el filtro biológico y tanques.

Para determinar al crecimiento de los peces, se realizaron los muestreos mensuales, de talla (Largo total, Largo estándar y Largo cefálico), para ello se utilizó un ictiómetro con una precisión de 1mm, y para el crecimiento en peso se utilizó una balanza digital con precisión de 0,1gramo EK4150, a fin de calcular la biomasa del tanque.

Con respecto a los vegetales, fueron plantados de semilla en la Unidad Académica Mar del Plata. Las mismas se colocaron a germinar en un recipiente con tierra. Una vez germinada, al llegar el plantín a un mínimo de cinco hojas verdaderas se procedió a lavar las raíces para luego trasladarlas a los sistemas de balsas y NFT. (Figura 2)

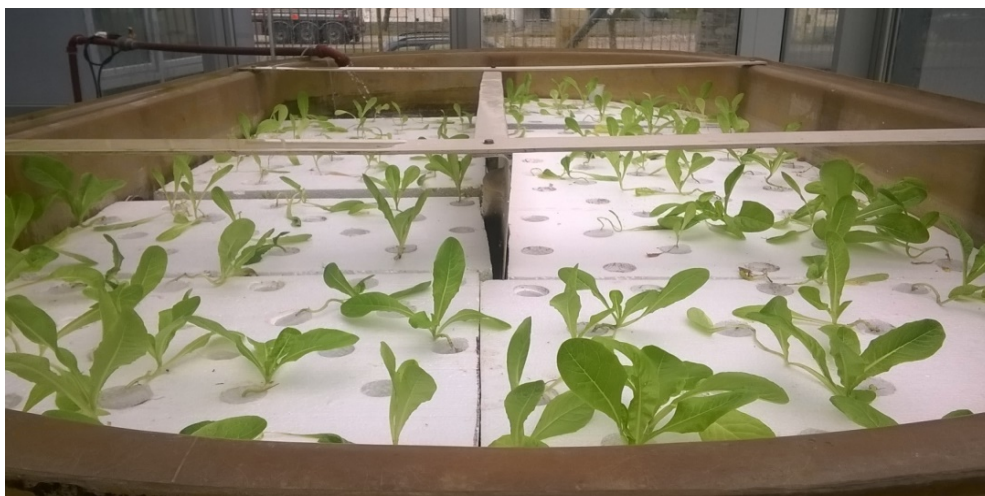


Figura 2. Sistema de balsas con plantines de lechuga criolla sembrados.

Análisis sensorial.

El análisis sensorial se llevó a cabo en la Unidad Académica MDP (UTN), por un panel de evaluadores seleccionados y entrenados para dichos productos. De cada una de las muestras de peces y vegetales se evaluaron los principales atributos como color, olor, sabor y textura para poder determinar las cualidades organolépticas, que influirían en la elección por parte de los potenciales consumidores. Además se realizó la comparación de los atributos seleccionados con productos comerciales para determinar si existen diferencias significativas entre ellos.

Resultados.

Los valores de los parámetros de calidad del agua se mantuvieron constantes producto de una buena recirculación y filtración, el oxígeno disuelto mostró valores entre 5,1ppm y 6ppm, la temperatura $26\pm 1^{\circ}\text{C}$ y el pH entre 7 y 7,5 a lo largo del engorde.

Las concentraciones de amonio, nitritos y nitratos se mantuvieron dentro de los parámetros esperados, sin bien no se produjo una depuración total del sistema, los valores observados se mantuvieron en concentraciones que no son nocivas para los peces, reduciendo considerablemente los recambios diarios de agua a recambios parciales semanales. (Tabla 1)

Muestra Filtro Biológico	Resultados mg/l	Muestra Tanque	Resultados mg/l
Nitratos	50	Nitratos	12,5
Nitritos	0,5	Nitritos	0,5
Amonio	0,5	Amonio	1

Tabla 1. Valores de las concentraciones de productos nitrogenados en filtro y tanque

Los vegetales tuvieron un buen crecimiento pudiendo obtener plantas de tamaño comercial en el periodo de 12 a 14 semanas de los vegetales ya descriptos

Cosecha de vegetales en Sistema de Balsas y NFT.

Se cosecharon en el sistema de balsas las plantas de lechuga luego de 28 días de sembradas, el total de plantas cosechadas fue de 123 (13 plantas se dejaron para realizar un análisis de retención de Nitrógeno). Se pesaron y tomaron las siguientes medidas para determinar el crecimiento de cada una (Largo total, largo de raíz, largo foliar, largo total de hoja, ancho total de hoja y número de hojas por planta). El peso total fue de 18403 gramos con raíz y 16439 gramos sin raíz. Es importante destacar que densidad final es de 2,9 veces más plantas que en tierra (60,2%).

En el sistema NFT se cosecharon un total de doce los plantas de albahaca (*Ocimum basilicum*) con un peso total de hojas de 900gramos.y un promedio de 172 ± 4 hojas por planta. (Tabla 2. Figura 3)

Lechuga criolla (*Lactuca sativa*)

N° de plantas	peso (g)	*LR (cm)	*LF (cm)	*LTH (cm)	*ATH (cm)	*N° de hojas	Peso raíz(g)
10	2126 \pm 0,8	59	45	34	15	24	208
10	796 \pm 0,5	36	46	30	15	14	87
10	1469 \pm 1,1	45	38	29	11	18	158
10	1436 \pm 0,9	54	38	32	15	22	282
10	1764 \pm 1	50	44	35	20	21	209
10	1656 \pm 0,5	46	42	34	18	22	205
10	1043 \pm 0,7	44	43	36	16	21	127
10	1029 \pm 0,9	45	36	35	16	18	119
10	1019 \pm 1,3	49	41	26	13	17	106
10	1950 \pm 1	59	42	33	16	18	185
10	2000 \pm 1,2	54	39	32	16	24	126
10	1611 \pm 1	46	40	32	18	22	152
3	504 \pm 0,1	49	41	31	18	24	54
Total con raíz	18403 \pm 1,5						
Total sin raíz	16439 \pm 1,5						

*Estos valores corresponden a una plana de cada 10 elegida al azar

Albahaca (*Ocimum basilicum*)

N° de plantas	Raíz (cm)	Hojas (unidad)	Tallo (cm)	peso c/raíz (gr)	peso s/raíz(gr)	Tallo (gr)	hojas (gr)	raíz (g)
1	28	253	63	189	121	48	73	68
1	26	173	53	147	73	29	44	74
1	33	91	52	78	48	19	29	30
1	29	127	55	80	49	20	29	31
1	33	154	59	111	59	24	35	52
1	30	164	54	118	67	26	41	51
1	26	243	69	177	108	46	62	69
Total: 7	-	1205	-	900	525	212	313	-

Tabla 2. Cosecha de lechugas y albahacas en el Sistema de Balsas y NFT.



Figura 3 . Cosecha de lechugas y albahacas en el Sistema de Balsas y NFT.

Los ejemplares juveniles de tilapia que se sembraron fueron obtenidos mediante desoves en las instalaciones del laboratorio de acuicultura, se masculinizaron utilizando alfa-metil testosterona y fueron sembrados con un peso promedio de $80\text{g}\pm 9$ y cosechados con un peso promedio de $300\text{g}\pm 14$ al cabo de 94 días. (Figura 4)

El alimento utilizado fue un balanceado seco con un 30% de proteína bruta que se suministró diariamente en seis raciones, determinadas de acuerdo a la biomasa existente en el tanque y por tablas de alimentación. (Mallo, *et al*, en prensa).



Figura 4. Ejemplares de tilapia nilótica cosechados al finalizar la experiencia.

Análisis Sensorial.

De los resultados obtenidos se determinó que los vegetales producidos en este sistema acuapónico poseían diferencias significativas en cuanto a los atributos, sabor, color, olor y aceptación global respecto a los vegetales comerciales, encontrando un sabor y olor más intenso y característico y un color más brillante; mientras que en cuanto a la textura no se encontró diferencias estadísticamente significativas entre ambos. (Tabla 3)

Tipo de muestra : lechuga comercial vs acuaponia

Atributo	Resultado	Método
Aceptación Global	Existen diferencias significativas entre muestras	Norma IRAM 2007 comparación por pares
Dureza de la hoja	no existen diferencias significativas entre muestras	Norma IRAM 2007 comparación por pares
Sabor característico	no existen diferencias significativas entre muestras	Norma IRAM 2007 comparación por pares
Sabor salado	no existen diferencias significativas entre muestras	Norma IRAM 2007 comparación por pares
sabor dulce	no existen diferencias significativas entre muestras	Norma IRAM 2007 comparación por pares
color característico	Existen diferencias significativas entre muestras	Norma IRAM 2007 comparación por pares
intensidad de color	Existen diferencias significativas entre muestras	Norma IRAM 2007 comparación por pares
uniformidad de color	Existen diferencias significativas entre muestras	Norma IRAM 2007 comparación por pares
textura mantecosa	Existen diferencias significativas entre muestras	Norma IRAM 2007 comparación por pares
aspereza de la hoja	no existen diferencias significativas entre muestras	Norma IRAM 2007 comparación por pares

Tabla 3. Análisis sensorial de lechuga criolla obtenida en el Sistema de Balsas.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la evaluación de los panelistas entrenados, se determinó que los atributos de los filets de los ejemplares de tilapias cultivadas fueron de un color blanco característico, sabor suave y neutro, olor neutro y firme textura; aceptados totalmente por los panelistas.

Conclusiones.

Se puede afirmar luego de los resultados obtenidos que este novedoso y sustentable sistema de producción se puede utilizar para producir vegetales y peces en forma conjunta logrando no solo un ahorro energético sino también en forma orgánica y sustentable en sistemas de pequeñas, medianas y grandes producciones. Igualmente se seguirá investigando con diferentes sistemas de producción y diferentes especies vegetales y de peces, para lograr el más conveniente medioambientalmente y productivo. La acuaponia sostenible considera la dinámica ambiental, económica y social.

Referencias

- Adler, P.R., Harper, J.K., Wade, E.M., Takeda, F. & Summerfelt, S.T. 2000. Economic analysis of an aquaponic system for the integrated production of rainbow trout and plants. *International Journal of Recirculating Aquaculture*. Vol.1: 10-13
- Bahnasawy M.H., EL-Ghobashy A.E. & Abdel-N.F.Hakim. 2009. Culture of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a recirculating water system using different protein levels. *Egypt J. Aquat. Biol. & Fish.*, Vol. 13, No. 2:1-15. ISSN 1110 –1131
- Caló, P. 2011. Introducción a la acuaponia. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola- CENADAC. Dirección Nacional de Acuicultura. Pp. 1-15.
- Church D & Pond W.1982. Basic animal nutrition and feeding. New York, USA: John Wiley and Sons. ISBN 10: [0471875147](#) / ISBN 13: [9780471875147](#)
- Diver, S. 2006. .Aquaponics—Integration of Hydroponics with Aquaculture. Publication of ATTRA—National Sustainable Agriculture Information Service • 1-800-346-9140 • Updated by Lee Rinehart, NCAT Agriculture Specialist © 2010 NCAT Holly Michels, Editor, Amy Smith, Production. Pp.28. www.attra.ncat.org/attra-pub/aquaponic.html. Or www.attra.ncat.org/attra-pub/PDF/aquaponic.pdf.
- [FAO. 2014](#). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Oportunidades y desafíos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, 2014. 274 Pp. ISBN 978-92-5-308275-9 (edición impresa). E-ISBN 978-92-5-308276-6.
- Guzmán Díaz, G. 2004. Hidroponia en casa. Una actividad familiar. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Sistema Unificado de Información Institucional. ISBN: 9968-877-11-5.Pp.1-25.
- Kubitza, F. 2006. Sistemas de Recirculação: Sistemas fechados com tratamento e reuso da agua. *Panorama da Aqüicultura*. Río de Janeiro. vol. 16, nº 95, p. 15 a 22.
- El-Sayed, A.F.M. 2006. Tilapia Culture. Wallingford (UK): CAB International Publishing. 277p.
- Mallo J. C, N. Zanazzi, E. Tranier, A. Gorosito, A. Barragán, F. Cecchi M. Fernández Subiela, D. Castellini, y J. Imeroni. (en prensa). Primer ensayo experimental de engorde de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) en sistema cerrado de recirculación en Mar del Plata, Argentina. *Revista de Investigaciones Pesqueras*. C.I.P. Cuba.(2017).

Nguyen T.N. & Davis D.A. 2009. Evaluation of alternative protein sources to replace fish meal in practical diets for juvenile tilapia, *Oreochromis* spp. Journal of the World Aquaculture Society. 40(1): 113-121.

Sádaba, S; J. Del Castillo, J.Sanz de Galdeano, A. Uribarri & G. Aguado. 2007. Lechuga en cultivo hidropónico. Acercamiento a nuevas formas de producción. ITG. Agrícola. Pp. 29-34.